

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 37 514.7

Anmeldetag: 14. August 2003

Anmelder/Inhaber: Süss MicroTec Litography GmbH,
Garching b München/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Vorbehandlung
der Oberflächen von zu bondenden Substraten

IPC: H 01 L 21/58

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Nitschke

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Verfahren und Vorrichtung zur Vorbehandlung der Oberflächen von zu bondenden Substraten

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bonden (Verbinden) von Substraten und insbesondere zur Vorbehandlung der Oberflächen von Substraten vor einem Bonden der Substrate in der Halbleitertechnologie.

Die Substrate können direkt oder über Zwischenschichten miteinander verbunden werden. So
10 können die Substrate ganz oder teilweise metallisiert sein, insbesondere mit Kupfer, und dann über die Metalloberflächen eutektisch gebondet werden.

Beim Bonden (Verbinden) von z.B. Halbleitersubstraten, wobei je eine Oberfläche der Halbleitersubstrate miteinander fest verhaftet werden, spielt die Beschaffenheit der zu
15 verbindenden Oberflächen eine große Rolle. Die physikalische und chemische Oberflächenbeschaffenheit hat einen direkten Einfluß auf die Haftfestigkeit der zu verbindenden Substrate. So können insbesondere die Oberflächen-Rauhigkeit (makroskopisch und mikroskopisch), eventuelle Zwischen- und Grenzschichten und die Oberflächenenergie bzw. Oberflächenspannung das Bondergebnis beeinflussen. Beim Bonden der Substrate über
20 Kupferschichten auf der Oberfläche der Substrate wirkt sich auf den Schichten gebildetes Kupferoxid nachteilig auf die Bondfestigkeit aus.

Es ist bereits bekannt, die Substratoberflächen mittels Plasma in einer Niederdruck-Plasmaanlage zu behandeln. Allerdings ist dieses Verfahren wegen der erforderlichen
25 Niederdruck-Plasmaanlage apparativ aufwendig und wegen der Ein-/Ausschleusung der Substrate auch zeitaufwendig. Außerdem ist zur Erhöhung der Verbindungsenergie eine Temperaturbehandlung von ca. 400°C erforderlich.

Aus "Vakuum in Forschung und Praxis" 14 (2002), Nr. 3, Seiten 149-155 ist es an sich
30 bekannt, Oberflächen von Festkörpern mittels Plasma bei Atmosphärendruck zu reinigen und zu beschichten. Die Druckschrift gibt eine Übersicht über entsprechende Beschichtungssysteme und Reinigungsverfahren. Außerdem wird der operative Aufbau einer Vorrichtung zur Beschichtung und Reinigung von Oberflächen mittels

Atmosphärendruckplasmen dargestellt. Dabei werden mittels atmosphärischen Plasma, z.B. die Oberflächen von Metallen behandelt, um einen Korrosionsschutz zu erreichen, und die Oberfläche von Kunststoffen vor einer organischen Beschichtung modifiziert.

- 5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfaches und kostengünstiges Verfahren und eine einfache und kostengünstige Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, mit denen die Haftfestigkeit der gebondeten Substrate verbessert wird und die Temperatur der Wärmebehandlung zur Erhöhung der Verbindungsenergie (Bondenergie) gesenkt wird.
- 10 Die Aufgabe wird mit den Merkmalen der Patentansprüche gelöst.

Bei der Lösung geht die Erfindung von folgenden Grundgedanken aus.

- 15 Nachstehend wird eine Oberfläche oder eine Schicht auf der Oberfläche eines Substrates, über die dieses Substrat mit einem anderen Substrat verbunden (gebondet) werden soll, als "Bondfläche" bezeichnet.

- Vor dem Bonden wird mindestens eine der Bondflächen der zu verbindenden Halbleitersubstrate der Einwirkung eines atmosphärischen Plasmas ausgesetzt. In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Plasma, das durch ein entsprechendes Gas gebildet wird, durch eine Koronaentladung erzeugt. In Abhängigkeit von der Verweildauer der Bondfläche im Plasma, der Energiedichte sowie der angelegten Spannung und Frequenz kann durch die Plasmabehandlung die Bondfläche gereinigt, chemisch aktiviert oder abgetragen werden, wobei auch unerwünschte Zwischenschichten wie Oxide auf Metallschichten entfernt werden und sich auch eine Glättung, d.h. die Beseitigung von Rauigkeiten der Oberfläche ergibt. Wenn durch das Plasma eine Schicht auf der Oberfläche aufgetragen werden soll, wird das das Plasma bildende Gas so gewählt, daß es mit der Substratoberfläche reagiert, z.B. Sauerstoff zur Bildung von Isolatorschichten aus SiO_x . Die erfindungsgemäße Plasmabehandlung kann sowohl vor als auch nach naßchemischen Reinigungsverfahren erfolgen und als letzter Prozeßschritt vor dem Bonden der Substrate vorgesehen werden. Eine Vorrichtung zur Plasmabehandlung vor dem Bonden, die der im Stand der Technik bekannten Vorrichtung entsprechen kann, kann in einer Einheit mit einer Vorrichtung für Naßchemiebehandlung, wie sie in der PCT/EP01/07042 beschrieben und dort in der
- 20
- 25
- 30

zugehörigen Fig. 1 gezeigt ist, und einer Vorrichtung zum Bonden von Substraten zusammengefaßt sein. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann jedoch auch räumlich getrennt von den Vorrichtungen für naßchemische Behandlung und das Bonden von Substraten angeordnet sein.

5

Der Vorteil der Erfindung liegt in einer einfachen und kostengünstigen Behandlung vor dem Bonden, wobei eine Erwärmung der Substrate und die Schädigung von temperaturempfindlichen Substraten vermieden wird. Bei der erfindungsgemäß bevorzugten Plasmaerzeugung durch Koronaentladung (dielektrische Barrierenentladung) bildet sich zwischen zwei leitenden Elektroden beim Anlegen einer Wechselspannung hinreichender Größe eine Vielzahl lokalisierter Mikroentladungen aus, die eine sehr kurze Zeitdauer im Bereich von 10^{-8} sec haben. Bei diesen Mikroentladungen werden Gase durch elektronische Anregung, Ionisation und Dissoziation aktiviert und chemisch reaktive Spezies gebildet. Dabei wird die mittlere Gastemperatur im Entladungsspalt um wenige Grad Kelvin erhöht. Die Entladung bleibt also kalt und ist daher für das Bonden von Halbleitersubstraten sehr gut geeignet. Besonders vorteilhaft ist die Erfindung für das Direktverbinden (direct bonding) von Substraten, da dabei sehr saubere und glatte Oberflächen benötigt werden. Durch die Erfindung kann die Oberflächenenergie bzw. -spannung erhöht werden. Dadurch kann bei dem erforderlichen Ausheilen (Annealing) bei gleicher Bondfestigkeit mit deutlich geringeren Temperaturen ausgekommen werden. Bei diesem Ausheilen werden die relativ schwachen Van-der-Waals Bindungen in kovalente (chemische) Bindungen umgewandelt.

15
20

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

25 Fig. 1 ein allgemeines Prinzipbild einer Plasmabehandlung der Oberfläche eines Halbleitersubstrats,

Fig. 2 das Prinzipbild einer Vorrichtung zur Vorbehandlung von Bondflächen, die in der Erfindung eingesetzt werden kann,

30

Fig. 3 den Effekt verschiedener Plasmagase auf die Erhöhung der Verbindungsenergie, und

Fig. 4 den Effekt des Gasflusses auf die Erhöhung der Verbindungsenergie.

Figur 1 zeigt einen Querschnitt durch ein Halbleitersubstrat 1 auf einem Träger 4, auf das ein Plasma 2 einwirkt. Das Plasma 2 wird unterhalb einer Hochspannungselektrode 3 aus einem Prozeßgas erzeugt. Der Träger 4 für das Halbeitersubstrat dient als Gegenelektrode. Die Plasmaeinwirkung auf die Oberfläche 1a des Halbleitersubstrats 1 kann durch Bewegung der Gegenelektrode 3 in horizontaler Richtung als auch durch Bewegung des Trägers 4 in horizontaler Richtung gegenüber dem Plasma 2 erfolgen. Möglich ist aber auch eine gleichzeitige Bewegung des Plasmas und des Trägers 4 mit dem Halbleitersubstrat in entgegengesetzte Richtungen. Diese Bewegungen werden durch die Doppelpfeile A angezeigt.

Der Abstand d zwischen der Halbleitersubstratoberfläche 1a und der Hochspannungselektrode 3 kann durch Bewegung der Hochspannungselektrode 3 oder des Trägers 4 in Doppelpfeilrichtung B eingestellt werden. Es wurde gefunden, daß ein Durchlauf (Scan) des Plasmas über die Oberfläche 1a des Halbleitersubstrats ausreichend ist. Mit der Anzahl der Scans nimmt die Bondenergie wieder ab. Das bedeutet, daß durch die Plasmabehandlung eine Modifizierung der Oberfläche erreicht wird.

Figur 2 zeigt eine Realisierung des in Figur 1 dargestellten Prinzips mittels einer dielektrischen Barrierenentladung in Luft, wie sie bei der Erfindung zum Einsatz kommen kann. In Figur 2 ist gegenüber der Oberfläche 1a des Halbleitersubstrats 1, das sich auf dem Träger 4 befindet, eine zweiteilige Hochspannungselektrode 31, 32 mit einer dielektrischen Barrierenschicht 31a bzw. 32a angeordnet; diese Elektroden 31, 32 sind an einen Hochspannungsgenerator 7 angeschlossen. Der Träger 4 ist als Gegenelektrode mit Erde verbunden. Zwischen den Hochspannungselektroden 31, 32 und der Oberfläche 1a des Halbleitersubstrats erfolgt eine Mikroentladung 8, die aus einem Prozeßgas 5, das aus einem Prozeßgasbehälter 6 durch das elektrische Feld zwischen den Hochspannungselektrode 31, 32 und der Oberfläche 1a fließt, ein Plasma 2 erzeugt. Das Plasma wird durch Mikroentladungen mit einer Dauer von 1-10 ns gebildet. Die Entladungswege haben einen Radius von 0,1 mm. Die während einer Mikroentladung transportierte Ladung beträgt 100 bis 1000 pC. Die Stromdichte beträgt 100 bis 1000 A/cm². Die Elektronendichte ist 10¹⁴ bis 10¹⁵ cm⁻³ und die durchschnittliche Elektronenenergie beträgt 1 bis 10 eV. Während der Plasmabehandlung wird der Gasfluß aufrechterhalten, um eine Verdünnung des Prozeßgases durch Einfließen von Luft aus der Umgebung zu verhindern. Vorzugsweise wird der Abstand d zwischen der Hochspannungselektroden 31, 32 und der Halbleitersubstratoberfläche 1a auf etwa 0,5 bis 2

mm eingestellt. Die Elektrodenspannung beträgt vorzugsweise 10 bis 20 kV und die Frequenz wird vorzugsweise von 20 bis 60 kHz eingestellt. Als Prozeßgase können O_2 oder O_3 verwendet werden, wenn z.B. die Oberfläche 1a gereinigt oder mit einer Isolatorschicht bedeckt werden soll. Für den Schichtabtrag, der Rauigkeiten beseitigen und Oberflächenatome chemisch aktivieren soll, ist eine Plasmabehandlung mit einem Inertgas z.B. Stickstoff oder Argon, vorteilhaft.

Es wurde gefunden, daß mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der erforderlichen Ausheilung nach dem Bonden bereits bei einer Ausheiltemperatur von $200^\circ C$ ausreichende Verbindungsenergien von $\sigma \geq 2 \text{ J/m}^2$ erreicht werden. Dieser Wert ergibt sich bereits bei niedrigen Ausheilzeiten von 1-5 Stunden.

In Figur 3 wird die Wirkung verschiedener Plasmagase auf die Verbindungsenergie σ in Abhängigkeit der Ausheilzeit t bei $200^\circ C$ und nach einem Scan dargestellt. Untersucht wird synthetische Luft, reiner Sauerstoff und reiner Stickstoff. Als Bezug wird normale Luft angegeben. Es ist zu erkennen, daß bei einem Plasma aus reinem Stickstoff die höchsten Bindungsenergien in der kürzesten Zeit erreicht werden.

Figur 4 zeigt den Einfluß des Gasflusses auf die Erhöhung der Verbindungsenergie σ in Abhängigkeit der Ausheilzeit t bei $200^\circ C$ nach einem Scan. Untersucht wurde synthetische Luft mit einer Zusammensetzung aus Stickstoff und Sauerstoff und normale Luft als Bezug. Die Gasflüsse von Stickstoff und Sauerstoff standen in einem Verhältnis von 16 zu 4 slm (Liter pro Minute bei $20^\circ C$ und einer Atmosphäre) bzw. 40 zu 10 slm. Es ist zu erkennen, daß die Erhöhung des Gasflusses zu den besten Verbindungsenergien in der kürzesten Zeit führt. Der Gasfluß ist also von entscheidender Bedeutung für das erfindungsgemäße Verfahren. Hohe Gasflüsse erhöhen wesentlich die Bondenergie.

Durch die erfindungsgemäße Plasmabehandlung wird auch die Entstehung von Grenzflächendefekten (Bläschen) verhindert. Nach der Behandlung mit einem Plasma aus reinem Stickstoff oder synthetischer Luft wurden auch nach einer Ausheilung von 20 Stunden bei $200^\circ C$ IR-mikroskopisch keine erkennbaren Defekte festgestellt. Jedoch wurden bei gleicher Wärmebehandlung nach Behandlung mit einem Sauerstoffplasma noch Defekte festgestellt. Generell steigt bei höheren Temperaturen einer Wärmebehandlung die

Wahrscheinlichkeit der Erzeugung von Grenzflächendefekten. Da jedoch das erfindungsgemäße Verfahren nur kurze Wärmebehandlungszeiten zum Erreichen einer hohen Grenzflächenenergie erfordert, sind bei dem erfindungsgemäßen Verfahren Grenzflächendefekte unkritisch.

5

Die erfindungsgemäße Plasmabehandlungsvorrichtung gemäß Figur 2 wird gemäß der Erfindung mit einer vorzugsweise direkt nachgeschalteten Vorrichtung zum Bonden der Halbleitersubstrate kombiniert. Das Bonden der Substrate erfolgt bevorzugt durch Direktverbinden (d.h. ohne Zwischenschicht). Es kann aber auch nach einer Reaktion des
10 Plasmas mit der Oberfläche des Halbleitersubstrats eine Zwischenschicht aufgewachsen werden, wobei das Bonden z.B. mittels eines Klebers erfolgt. Weiterhin können Oberflächen von Substraten behandelt werden, die bereits eine Kleber-, Lot- oder Metallschicht aufweisen. Das geschieht z.B. zum Reinigen, Abtragen von nativen Oxiden oder zur Aktivierung der Schichten. Das Bonden der Substrate kann auch über teilweise oder vollständig auf den
15 Substraten aufgebrachte Metallschichten, vorzugsweise Kupfer erfolgen. Die Substrate werden dann eutektisch gebondet. Es wurde gefunden, daß das erfindungsgemäße Plasma unter Atmosphärendruck (AP) Kupferoxid, das sich auf Kupferoberflächen an normaler Luft schnell bildet, von der Oberfläche der Kupferschicht auf dem Substrat entfernt. Dadurch erhöht sich die Bondfestigkeit beim nachfolgenden Bonden.

20

Vorzugsweise kommt die Erfindung beim SOI (Silicon On Isolator) -Bonding zum Einsatz.

Die erfindungsgemäße Plasmabehandlungsvorrichtung kann sich in Prozeßrichtung hinter einer Vorrichtung für die naßchemische Behandlung der Substrate befinden. Es können auch
25 mehrere aufeinanderfolgende Vorrichtungen für die naßchemische und die Plasmabehandlung vorgesehen sein, wobei die Reihenfolge der Vorrichtungen austauschbar ist. Die Vorrichtung zur Plasmabehandlung kann mit einer Vorrichtung zur naßchemischen Behandlung und einer Vorrichtung zum Bonden in einer integralen Einheit zusammengefaßt sein. Die genannten Vorrichtungen können jedoch auch räumlich getrennt voneinander innerhalb einer
30 entsprechenden Zusammenfassung (Bondcluster) angeordnet sein. Bevorzugt werden mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung Substrate mit einem Durchmesser von 300 mm plasmabehandelt.

Die erfindungsgemäße vielseitige Anordnung der Plasmabehandlungsvorrichtung ergibt sich daraus, daß das Plasma bei Atmosphärendruck erzeugt und aufrechterhalten wird und somit auf eine Vakuumanlage verzichtet werden kann. Damit ist ein flexibler Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich, wobei Produktionskosten und -zeiten eingespart

5 werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verbinden von mindestens zwei Substraten (1) durch Bonden nach einer Vorbehandlung mindestens einer der Bondflächen, dadurch gekennzeichnet dass zur Vorbehandlung auf die Bondfläche ein Plasma (2) bei Atmosphärendruck einwirkt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Plasma (2) durch eine Koronaentladung (8) erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Bondfläche (1a) durch das Plasma (2) gereinigt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Bondfläche (1a) durch das Plasma (2) chemisch aktiviert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei durch das Plasma (2) eine Schicht der Bondfläche (1a) abgetragen wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei durch das Plasma (2) eine Schicht auf die Bondfläche (1a) aufgewachsen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Substrate (1) beim Bonden direkt miteinander verbunden werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Substrate (1) über Metallschichten, die die Substrate ganz oder teilweise bedecken, miteinander verbunden werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die Metallschichten aus Kupfer bestehen.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Plasmabehandlung vor einer naßchemischen Reinigung der Substrate (1) erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Plasmabehandlung nach einer naßchemischen Reinigung der Substrate (1) erfolgt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Plasmabehandlung als letzter Prozeßschritt vor dem Bonden erfolgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei die Plasmabehandlung und die naßchemische Reinigung mehrfach erfolgen.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei das Plasma (2) unter Verwendung von O₂- oder O₃-Gas oder Inertgasen erzeugt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Plasma (2) unter Verwendung von N₂-Gas erzeugt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei das Plasma (2) über die Bondfläche (1a) des Substrats (1) bewegt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei die Bondfläche (1a) des Substrats (1) durch das Plasma (2) bewegt wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei das Plasma (2) und die Bondfläche (1a) des Substrats (1) gegeneinander bewegt werden.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei nur ein Durchlauf des Plasmas (2) über die Bondfläche (1a) erfolgt.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei das Plasma (2) gleichzeitig auf die Bondflächen (1a) mehrerer Substrate (1) einwirkt.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20 zur Vorbehandlung beim Bonden von Halbleitersubstraten oder beim SOI-Bonden.

22. Vorrichtung zur Vorbehandlung der Oberflächen (Bondflächen 1a) von Substraten (1) vor dem Bonden mit einer Einrichtung zum Erzeugen eines Plasmas (2) durch eine Koronaentladung (8) zwischen einer Hochspannungselektrode (3; 31, 32) und einer Gegenelektrode und mit einem Träger (4) zur Anordnung mindestens eines Substrats (1) in dem Plasma.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei der Träger (4) als Gegenelektrode ausgebildet ist.
24. Vorrichtung nach Anspruch 22 oder 23, wobei die Hochspannungselektrode (3) und der Träger (4) relativ zueinander bewegbar sind.
25. Vorrichtung nach Anspruch 24, wobei die Hochspannungselektrode (3) und der Träger (4) gegeneinander in horizontaler (A) und in vertikaler (B) Richtung bewegbar sind.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 25, wobei der Abstand (d) zwischen der Hochspannungselektrode (3) und der Oberfläche (1a) des Substrats (1) 0,5 bis 2 mm beträgt.
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 20 bis 24, wobei die Koronaentladung bei einer Elektrodenspannung von 10 bis 20 kV und bei einer Frequenz von 20 bis 60 kHz erfolgt.
28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 27 mit einer Einrichtung für die Behandlung von Substraten mit 300 mm Durchmesser.
29. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 28 zum Vorbehandeln beim Bonden von Halbleitersubstraten.
30. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 29 zum Vorbehandeln beim SOI-Bonden.
31. Anordnung zum Bonden von Substraten mit mindestens einer vorgeschalteten Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 30.

32. Anordnung nach Anspruch 31 mit mindestens einer vorgeschalteten Vorrichtung zur naßchemischen Reinigung.

Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zur Vorbehandlung der Oberflächen von Substraten vor einem Bonden

5

Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Behandlung der Oberflächen bzw. Bondflächen von Substraten vor einem Bonden der Substrate zur Verfügung gestellt. Erfindungsgemäß werden die Oberflächen von zu bondenden Substraten vor dem Bonden mit einem atmosphärischen Plasma behandelt. Auf diese Weise können die Oberflächen der

10 Substrate gereinigt, chemisch aktiviert oder abgetragen werden. Es kann jedoch auch durch entsprechende reaktive Plasmagase eine Schicht aufgewachsen werden. Die Vorteile der Erfindung liegen in einer einfachen und kostengünstigen Herstellung von gebondeten Substraten, wobei eine hohe Haftfestigkeit erzielt werden kann.

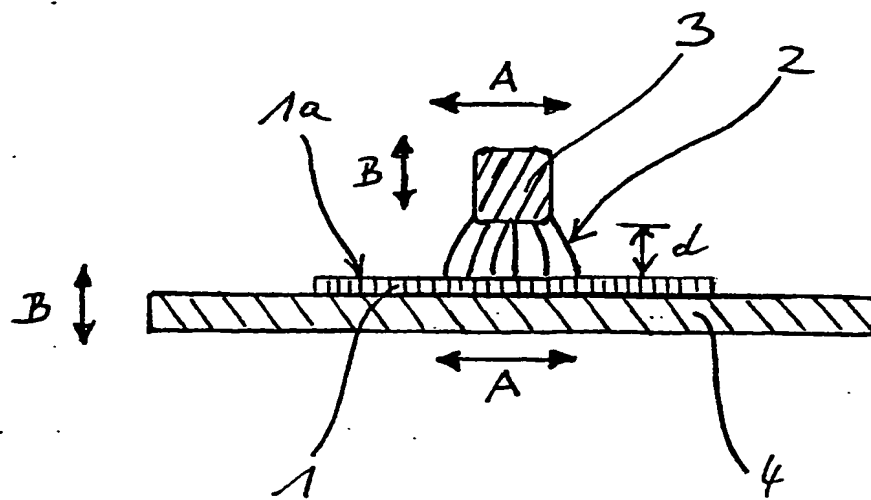


Fig. 1

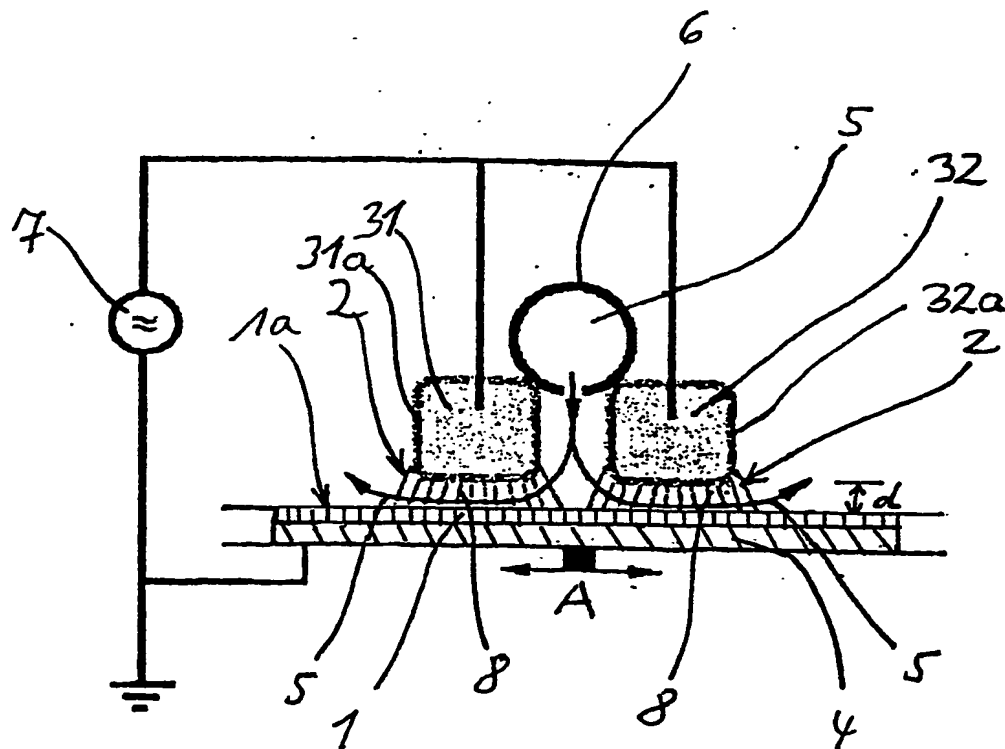


Fig. 2

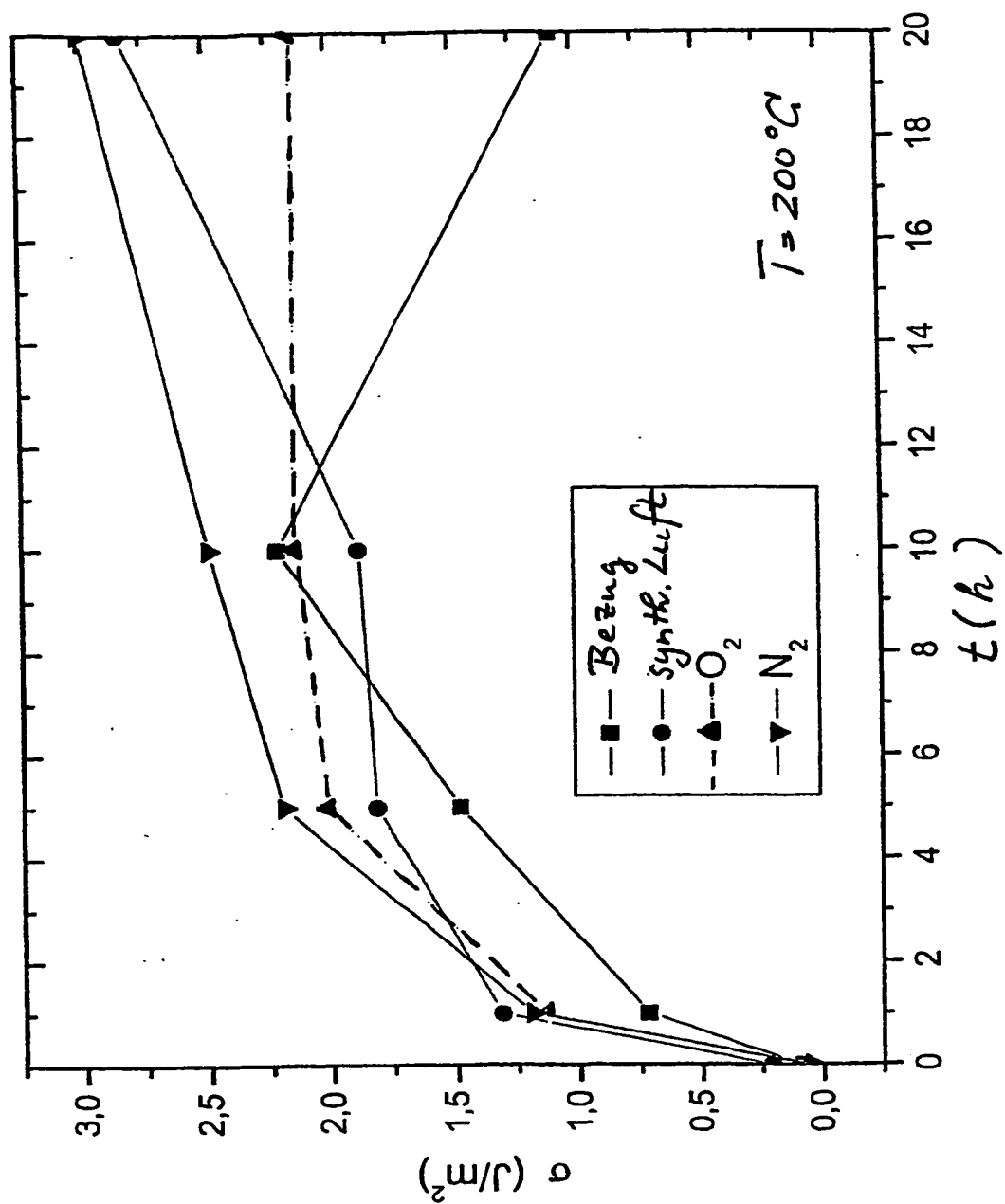


Fig. 3

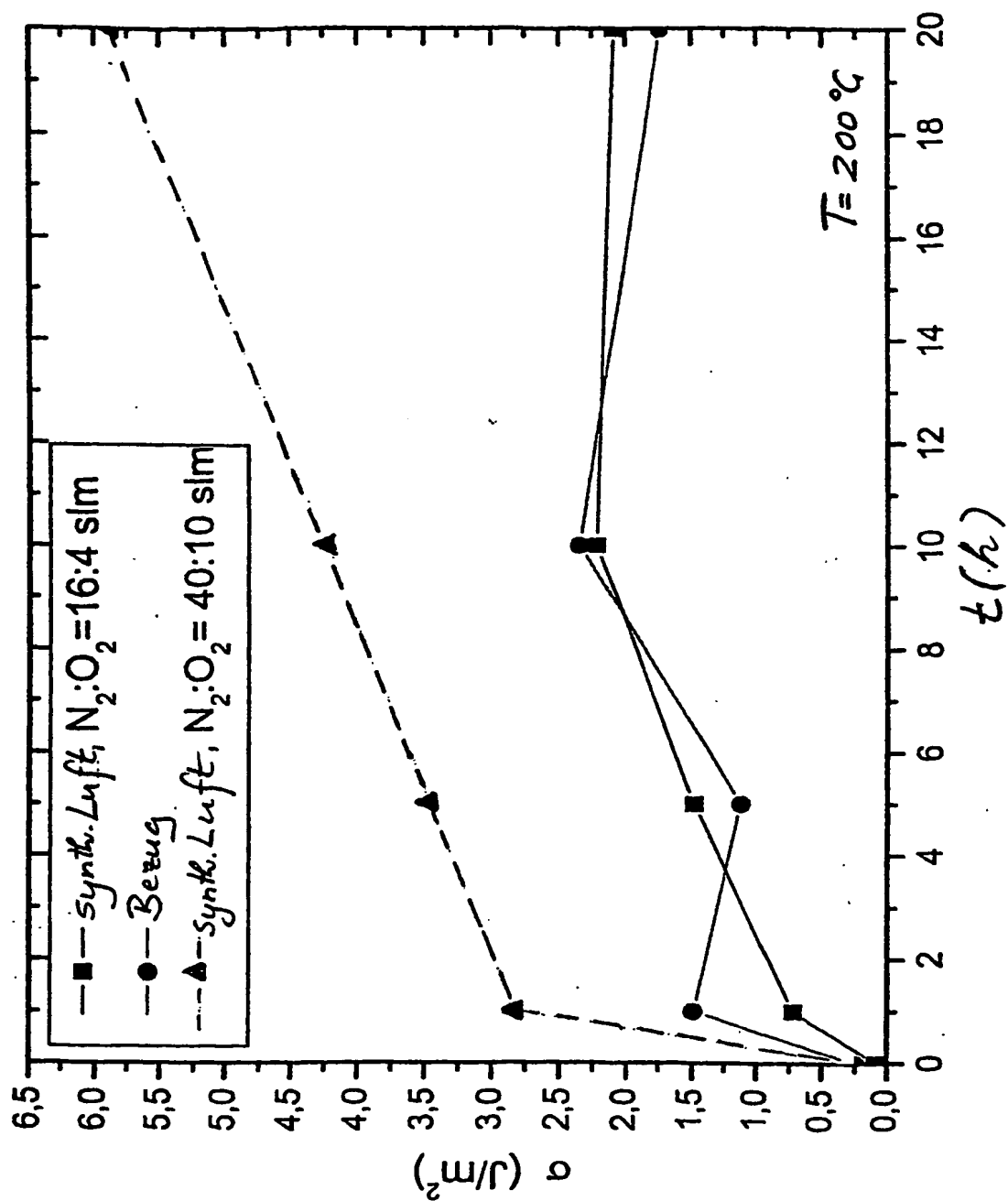


Fig. 45